

## Заметки, хроника, информация

© 2026 г.

### 15-й СЕМИНАР ИФАК ПО АДАПТИВНЫМ И ОБУЧАЮЩИМСЯ СИСТЕМАМ УПРАВЛЕНИЯ

Со 2 по 4 июля 2025 г. в городе Мехико, столице Мексики, состоялся семинар по адаптивным и обучающимся системам управления (15th IFAC Workshop on Adaptive and Learning Control Systems, ALCOS 2025). Он прошел под эгидой технического комитета 1.2 по адаптивным и обучающимся системам Международной федерации по автоматическому управлению (ИФАК) и был организован факультетом электротехники и электроники Автономного технологического института Мексики (Instituto Tecnológico Autonomo de Mexico, ITAM). Техническим спонсором мероприятия выступила Мексиканская ассоциация автоматического управления (Asociacion de Mexico de Control Automatico, AMCA).

ALCOS является одним из регулярных семинаров ИФАК, целью которого является обмен идеями и результатами в области адаптивных и обучающихся систем управления, которые находят применение в условиях параметрической и функциональной неопределенности, нелинейной динамики и внешних возмущающих воздействий. Впервые мероприятие прошло в Сан-Франциско в 1983 г., и затем оно проходило в Лунде, Швеция (1986), Глазго, Шотландия (1989), Гренобле, Франция (1992), Будапеште, Венгрия (1995), Глазго, Шотландия (1998), Черноббио-Комо, Италия (2001), Катаяма, Япония (2004), Санкт-Петербурге, Россия (2007) [1], Анталии, Турция (2010), Кане, Франция (2013) [2], Эйндховене, Голландия (2016), Уинчестере, Великобритания (2019), Касабланке, Марокко (2022).

Отметим, что до 2019 г. мероприятие носило название семинар по адаптации и обучению в системах управления и обработки сигналов (Adaptation and Learning in Control and Signal Processing, ALCOSP). Более того, до 1998 г. семинар назывался симпозиумом (по правилам ИФАК мероприятие называется симпозиумом, если число его участников стабильно превышает 100). Однако начиная с 1998 г. число участников стало меньше 100. В 2001 г. профессор Биттанти (S. Bittanti), проводивший ALCOSP в Италии, предложил расширить его сферу и провести одновременно с ALCOSP-2001 семинар по управлению колебаниями Periodic Control Systems (PSYCO 2001). Это, действительно, привлекло новых участников, интересующихся управлением колебаниями, в том числе хаотическими, в механике, биологии и других областях, и общее число участников стало больше 100. Хотя в последующие годы 100 участников не набиралось, проводить два мероприятия вместе было

удобно и традиция сохранялась. В то же время сочетание двух разнонаправленных событий в одно время и в одном месте вызывало иногда недоумение, и в начале 2017 г. на онлайн-заседании технического комитета 1.2 был поднят вопрос о смене формата и названия семинара. На самом деле, работ по обработке сигналов на ALCOSP практически не было, так как обработка сигналов относится к области интересов другого технического комитета: комитета 1.1 «Идентификация и обработка сигналов». После непродолжительной дискуссии в январе 2017 г. было решено название семинара изменить на нынешнее ALCOS. Область управления колебаниями решили включить в сферу нового воркшопа неявно.

В новом формате мероприятие проводилось в 2019 г. в Уинчестере, в 2022 г. в Касабланке и в 2025 г. в Мехико.

В организации и проведении ALCOS 2025 активное участие принимали ученые из России, в частности сопредседателем семинара выступил А.А. Бобцов (ИТМО, Санкт-Петербург), членами международного программного комитета являлись: А.Л. Фрадков (ИПМаш РАН и СПбГУ, Санкт-Петербург), А.А. Пыркин (ИТМО, Санкт-Петербург), А.И. Глущенко (ИПУ РАН, Москва), а шесть участников из России (А.Л. Фрадков (ИПМаш РАН и СПбГУ), О.Н. Граничин (СПбГУ), А.А. Пыркин (ИТМО), А.А. Ведяков (ИТМО), А.А. Перегудин (ИТМО), А.И. Глущенко (ИПУ РАН)) были председателями или сопредседателями семи заседаний.

Из 53 работ, которые были представлены в 2025 г. на ALCOS, международный программный комитет отобрал 51 статью, которые были включены в окончательную программу семинара. К процессу рецензирования были привлечены 21 ответственный редактор и 236 независимых рецензентов. Каждая поданная статья была оценена как минимум двумя рецензентами. Окончательная программа включала три пленарных заседания, одну специальную секцию (invited session) и десять регулярных сессий. В рамках семинара ежедневно проходило две параллельные сессии.

В работе сессий приняло участие около 60 специалистов из 13 стран (Россия, Мексика, Франция, Индия, США, Бразилия, Великобритания, Колумбия, Китай, Марокко, Норвегия, Канада, Германия). Наибольшее число докладов (20) представили ученые из России (подсчет велся по аффилиации докладчика). Следующими по количеству докладов являются Мексика (9), Индия (5) и Франция (4). Россия была представлена учеными из Санкт-Петербурга, Москвы, Краснодара и Красногорска. Все запланированные доклады были представлены.

Относительно небольшое число докладов во многом объясняется конкретностью тематики семинара, в отличие от конференций по теории управления в целом, например European Control Conference (ECC), American Control Conference (ACC), Conference on Decision and Control (CDC) и т.д. При этом такая узкая направленность делает практически все заседания интересными для посещения, а всего две параллельные секции обеспечивают возможность

услышать практически половину всех докладов. Вновь обращаясь к исторической ретроспективе, отметим, что при рассмотрении последних 20 лет в 2010, 2016 и 2019 гг. количество докладов на ALCOS (ALCOSP) также не превышало 60, в 2007 было принято 90 докладов, и лишь в 2013 и 2022 гг. это число превысило 100 докладов.

Программа семинара включала три пленарных доклада.

Профессор А.Л. Фрадков, представляющий ИПМаш РАН и СПбГУ, посвятил свой доклад вопросам применения метода скоростного градиента для моделирования, управления, адаптации и обучения (“Speed-gradient for modeling, control, adaptation and learning”). В ходе выступления было дано описание современного состояния метода скоростного градиента, разработанного в основном в 1970-х и 1980-х гг., приведена краткая информация об алгоритмах скоростного градиента и их применимости, оптимальности и условиях пассивности. Были показаны применения метода скоростного градиента к адаптивному управлению и идентификации, нелинейному управлению, управлению энергией и нелинейными колебаниями, управлению сетями и распределенными системами, а также приведены примеры применения метода в инженерных, физических, биологических и экологических системах. Также были упомянуты недавние модификации и расширения метода, включая неевклидовы алгоритмы скоростного градиента, основанные на функциях Ляпунова–Брэгмана. В завершающей части доклада была продемонстрирована применимость метода скоростного градиента для разработки моделей природных явлений. Доклад вызвал живую дискуссию, в процессе которой обсуждались как классические вопросы о связи метода скоростного градиента и второго метода Ляпунова для синтеза адаптивных регуляторов, так и важные моменты, связанные с будущим развитием данного метода. Например, обсуждалась возможность его применения для решения задач оптимизации при наличии ограничений. Такое расширение было бы крайне важным, в частности, для разделов теории управления, в которых задача синтеза управления формулируется как задача оптимизации.

Профессор Жоао Педро Хешпанья (Joao Pedro Hespanha), представляющий Университет Калифорнии, Санта-Барбара, представил доклад по тематике обучения с подкреплением для крупномасштабных игр (“Reinforcement Learning for Large-Scale Games”). В рамках выступления рассматривалось использование метода обучения с подкреплением в Марковских играх с нулевой суммой для двух игроков с конечным, но большим пространством состояний, цель которых состоит в поиске минимаксных стратегий с “умеренными” вычислениями, т.е. поставлена задача подтвердить оптимальность стратегий, не исследуя все пространство состояний игры. Был дан обзор метода Q-обучения, который был предложен в конце 1980-х гг. как альтернатива принципа динамического программирования для одного игрока и игр с нулевой суммой для двух игроков. Подход основан на обучении с подкреплением и не требует известной Марковской модели системы. Далее в докладе было показано, что большая часть работ, посвященных доказательству коррект-

ности Q-обучения, основана на установлении того, что каждая его итерация сходится к единственной фиксированной точке уравнения типа Беллмана, что обычно требует исследования всего пространства состояний. В основной части доклада было продемонстрировано, что для игр с нулевой суммой можно построить математически корректные оптимальные стратегии с помощью алгоритмов, вдохновленных Q-обучением, без необходимости сходимости Q-функции по всему пространству состояний. Фактически выборки, используемые для обновления Q-функции, могут даже не исследовать весь набор достижимых состояний, а для определенных классов игр доля исследованных состояний становится все меньше и меньше по мере увеличения размера пространства состояний.

Профессор Зонг-Пин Джанг (Zhong-Ping Jiang) из Нью-Йоркского университета представил доклад по тематике применения подходов на основе обучения для синтеза адаптивных оптимальных регуляторов (“Learning for Adaptive Optimal Control”). Управление на основе обучения является методом прямого адаптивного управления, направленным на адаптацию оптимальных регуляторов непосредственно на основе получаемых в реальном времени данных. В докладе сначала были продемонстрированы известные разработки в области управления на основе обучения для линейных и нелинейных систем с неизвестной динамикой в непрерывном времени, а далее были представлены последние результаты анализа устойчивости регуляторов в непрерывном времени, синтезируемых на основе обучения. И если при рассмотрении линейных систем для синтеза адаптивного LQ-регулятора удастся обойтись параметризациями в виде линейных регрессионных уравнений, на основе которых могут быть получены законы адаптации параметров такого регулятора, то для нелинейных систем синтез адаптивных оптимальных регуляторов требует использования универсальных аппроксиматоров, в частности применения двух нейронных сетей в структуре регулятора (одной – для аппроксимации значения целевой функции, другой – для аппроксимации идеального регулятора). Это приводит к локальности получаемого результата с точки зрения устойчивости, а в случае наличия возмущений – к необходимости принятия допущения об их малости. В заключении доклада эффективность управления на основе обучения была продемонстрирована на примере автономных транспортных средств и медицины.

Тематика секционных заседаний ALCOS 2025 была сосредоточена на: задачах адаптивного управления и идентификации для линейных и нелинейных систем, адаптивных наблюдателях, управлении сетевыми системами, методах управления на основе данных и обучения с подкреплением. Особое внимание было уделено соединению теоретических разработок с приложениями в таких областях, как робототехника, аэрокосмическая промышленность, энергетические системы и автономные транспортные средства. Как было отмечено по итогам одного из заседаний, дискуссия была очень интересна, поскольку практически все специалисты в мире по ее тематике собрались в одном месте – на секциях ALCOS.

В программе ALCOS 2025 единственная тематическая сессия была организована профессором О.Н. Граничиным и Е.Ю. Тарасовой (СПбГУ) и посвящена вопросам управления мультиагентными системами на основе применения так называемых интеллектуальных подходов, в том числе для случаев динамической топологии сети, действия шумов и внешних возмущений и пр.

Хотелось бы отметить следующее. В последнее время не только в рамках ALCOS, но и ACC, ECC, CDC существенно возросло число докладов по тематике управления на основе данных (data-driven control) и обучения с подкреплением (reinforcement learning). Такие доклады неизменно привлекают большое внимание участников, особенно среди молодых ученых. Возможно, это объясняется тем фактом, что в настоящее время довольно популярным направлением подготовки специалистов является анализ данных, машинное обучение, глубокие нейронные сети и прочие инструменты работы с данными. И именно управление на основе данных и обучение с подкреплением кажется выпускникам таких специальностей наиболее простым и понятным путем, чтобы войти в теорию управления. Однако у всего есть своя цена. Для управления на основе данных требование полноранговости матрицы, составленной из собранных измерений, для линейных систем фактически означает возможность идентифицировать параметры такой системы, что сводит решение поставленной задачи к применению уже хорошо известных методов адаптивного и робастного управления. Для обучения с подкреплением такая цена – это жесткие допущения при доказательстве устойчивости и локальность получаемого результата. И об этом следует помнить. Данный абзац является дискуссионным, отражает исключительно субъективное мнение авторов, и авторы готовы обсуждать сказанное выше путем получения обратной связи от читателей.

Отдельно хотелось бы выделить секционный доклад профессора Мирослава Крстича (Miroslav Krstic) из университета Калифорнии, Сан-Диего, США. В своем докладе он предложил альтернативу хорошо известной сигма-модификации, применяемой в законах настройки параметров адаптивных регуляторов для обеспечения: 1) ограниченности параметрической ошибки при наличии внешних возмущений и непараметрической неопределенности, 2) сходимости ошибки слежения пусть и в ограниченную область, но с нерегулируемой границей, пропорциональной величине неизвестных идеальных параметров регулятора, непараметрической неопределенности и возмущений. В отличие от известных подходов, изложенный в докладе метод позволяет обеспечить желаемую заранее заданную точность по ошибке слежения при наличии произвольных внешних возмущений и непараметрической неопределенности за счет одновременного применения: зоны нечувствительности, нелинейного демпфирования и параметрической адаптации.

На взгляд авторов данной заметки, место проведения семинара было выбрано крайне удачно. Мехико – это очень большой мегаполис с красивыми парками и интересной архитектурой. Число жителей агломерации Мехико превышает 21 млн человек. Благодаря высокогорному субтропическому кли-

мату, в течение всего семинара температура воздуха была умеренной – около  $+22^{\circ}\text{C}$ , что располагало к спокойному обсуждению проблем и общению между учеными. Университет ИТАМ, основанный в 1946 г., в котором проходили все заседания, является небольшим (около 3500 студентов) частным университетом Мехико, кампус которого организован очень продуманно и создает атмосферу уюта. Разумеется, у участников семинара осталось время и для посещения многочисленных достопримечательностей Мехико, таких как Теотиуакан, Чапультепекский дворец, площадь Конституции, национальный музей антропологии, дворец изящных искусств и многих других.

Отдельно хотелось бы поблагодарить команду организаторов семинара, в частности председателя международного программного комитета профессора Ромео Ортегу (Romeo Ortega) и членов национального организационного комитета профессора Хосе Гваделупе Ромеро (Jose Guadalupe Romero), профессора Рафаэля Сиснейроса (Rafael Cisneros) и профессора Хьюго Родригеса (Hugo Rodriguez). Коллеги не только организовали ALCOS 2025 на очень высоком уровне, но и за день до его начала провели отдельный семинар “В ознаменование 40-летия научного сотрудничества между Россией и Мексикой в области теории управления” (“Commemorating forty years of scientific collaboration between Russia and Mexico in the field of Control Theory”), на котором выступила с приветствием представительница посольства РФ в Мексике и в котором, кроме уже упомянутых в данной заметке коллег, приняли участие профессора Л.М. Фридман (National Autonomous University of Mexico, UNAM), А.С. Позняк (Center for Research and Advanced Studies of the National Polytechnic Institute, CINVESTAV-IPN), Х. Морено (J. Moreno, National Autonomous University of Mexico, UNAM), И. Чаирез (I. Chairez, Monterrey Institute of Technology and Higher Education, ITESM), Л. Агуилар (L. Aguilar, Instituto Politecnico Nacional, IPN), Х. Давила (J. Davila, Instituto Politecnico Nacional, IPN), В.О. Никифоров (ИТМО) и др. Сообщения, которые делали участники семинара, были направлены как на представление научных результатов, так и на ознакомление слушателей с историей развития Российско-Мексиканского научного сотрудничества по тематике теории управления. Подобные семинары являются очень ценными для новых поколений исследователей, поскольку знание истории позволяет осмысленно ставить цели и определять задачи для дальнейших исследований.

Место проведения следующего семинара будет определено в 2026 г. в рамках конгресса ИФАК, который пройдет в г. Пусан, Южная Корея.

Более подробную информацию можно найти на официальной веб-странице <https://alcos2025.itam.mx/>

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Андриевский Б.Р., Фрадков А.Л.* Девятый семинар ИФАК по адаптации и обучению в системах управления и обработки сигналов (ALCOSP 2007) и третий

семинар ИФАК по периодическим системам управления (PSYCO 2007) // АиТ. 2008. № 4. С. 202–205.

2. *Бобцов А.А., Фрадков А.Л., Жири Ф.* 11-й семинар по адаптации и обучению в системах управления и обработки сигналов Международной федерации по автоматическому управлению (ALCOSP 2013) и 5-й семинар ИФАК по периодическим системам управления (PSYCO 2013) // АиТ. 2014. № 10. С. 153–157.

*А.А. Бобцов*, д-р техн. наук,  
Университет ИТМО, Санкт-Петербург,

*А.И. Глуценко*, д-р техн. наук,  
Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, Москва,

*К.А. Ласточкин*, канд. физ.-мат. наук,  
Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, Москва,

*Р. Ортега*, Ph.D.,  
Автономный технологический институт Мексики, Мехико,

*А.Л. Фрадков*, д-р техн. наук,  
Институт проблем машиноведения РАН, Санкт-Петербург